

Cust. # 026418

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 51 435.6
Anmeldetag: 30. Oktober 2002
Anmelder/Inhaber: XTREME technologies GmbH,
Jena/DE
Bezeichnung: Strahlungsquelle zur Erzeugung von extrem
ultravioletter Strahlung
IPC: H 01 J, H 05 G, H 05 H

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 18. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "OM", is enclosed within a large, sweeping, curved line that forms a stylized 'M' shape.

Wallner

Strahlungsquelle zur Erzeugung von extrem ultravioletter Strahlung

Die Erfindung betrifft eine Strahlungsquelle zur Erzeugung von extrem ultravioletter (EUV-) Strahlung, insbesondere für photolithographische Belichtungsverfahren. Sie 5 findet vorzugsweise Anwendung in der Halbleiterindustrie zur Herstellung von Halbleiterchips mit Strukturbreiten unter 50 nm.

Gasentladungsplasmen und laserinduzierte Plasmen sind als Emitter von EUV-Strahlung bekannt. Momentan werden verschiedene Applikationen dieser Strahlung 10 untersucht, z.B. Lithographie, Mikroskopie, Reflektometrie und Oberflächenanalyse. Für alle diese unterschiedlichen Anwendungen werden intensive und zuverlässige Strahlungsquellen benötigt.

Zukünftig werden EUV-Strahlungsquellen vor allem in der Halbleiterindustrie zur 15 Belichtung von kleinsten Strukturen im Lithographieverfahren benötigt, um bei hohem Durchsatz an Halbleiterscheiben (Wafern) Strukturbreiten unter 50 nm mit sehr guter Reproduzierbarkeit herstellen zu können.

Derzeit werden EUV-Strahlungsquellen als Prototypen gebaut. Die einzelnen Bauteile 20 sind überwiegend funktionsorientiert aneinander angeglichen. Der Austausch der Komponenten an einer so konzipierten Quelle ist schwierig und die Kompatibilität zu anderen Anwendungsfällen nicht möglich. Zusätzlich bestehen jedoch vor allem auch Forderungen nach Einhaltung stabiler Strahlungseigenschaften über die Betriebsdauer 25 hinweg sowie nach geringem technischen Aufwand beim Austausch von defekten oder verbrauchten Komponenten.

Eine ähnliche Problemstellung ist im Patent US 6,018,537 für die zuverlässige 30 Serienproduktion von Excimerlaser behandelt. Hier wird ein 10 mJ-F₂-Laser mit einer Impulsrate von 1 - 2 kHz derart aufgebaut, dass bestimmte Steuermodule den Einheiten der Strahlungsquelle, die wesentlich die Strahlungsleistung und Wiederholrate des Lasers bestimmen, zugeordnet sind. Diese Steuermodule können außer der globalen Aufgabe der Steuerung oder Regelung bestimmter Einflussgrößen des Lasers jedoch nicht für die komplizierten Steuerfunktionen einer EUV-Strahlungsquelle übernommen werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Realisierung von Strahlungsquellen zur Erzeugung von extrem ultravioletter (EUV-) Strahlung zu finden, die bei anwendungsspezifischer Flexibilität des Quellenkonzepts einen einheitlichen Grundaufbau zur Sicherung langfristig reproduzierbarer Strahlungs-
5 eigenschaften gestattet.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe der Erzeugung von EUV-Strahlung, bei der in einer Vakuumkammer ein heißes Plasma, das die gewünschte Strahlung emittiert, erzeugt wird, durch eine Strahlungsquelle gelöst, die aus einer Plasmaerzeugungseinheit, die zur Einbringung gepulst zugeführter, hoher Energieeinträge mit der Vakuumkammer direkt verbunden ist, um das heiße Plasma mit geringer räumlicher Ausdehnung und hoher Dichte in einer Symmetriearchse der Vakuumkammer zu erzeugen, wobei die Vakuumkammer eine Austrittsöffnung zur Auskopplung eines Lichtbündels zu einer spezifischen Anwendung aufweist, einer Vakuumerzeugungseinheit zur Erzeugung einer verdünnten Gasatmosphäre mit definiertem Druck in der Vakuumkammer und Teilen der Plasmaerzeugungseinheit, wobei die Vakuumerzeugungseinheit wenigstens eine Vakuumpumpe, ein Druckmessgerät und eine Steuerung zur Aufrechterhaltung eines geeigneten Betriebsdruckes für die Erzeugung des Plasmas und der EUV-Strahlung aufweist, einer Energiemonitoreinheit zur Erfassung der Impulsenergie der emittierten Strahlung, wobei die Energiemonitoreinheit zur Regelung einer Puls-zu-Puls-Stabilität der Energieabstrahlung des Plasmas eine Rückkopplung auf den Energieeintrag aufweist, einer Strahlungsdiagnoseeinheit zur Analyse der realen Strahlungscharakteristik der aus dem Plasma emittierten Strahlung und Generierung von Ergebnisdaten der Diagnose 15 zur Beeinflussung der Anregungsbedingungen für das Plasma, und einer Hauptsteuereinheit zur Steuerung einer definierten Qualität des ausgetrennten Lichtbündels als Strahlungsimpulse von anwendungsspezifischer Impulsdauer, Impulswiederholrate, mittlerer Energieabstrahlung und Strahlungsintensität, wobei die Hauptsteuereinheit zu allen vorgenannten Einheiten der Strahlungsquelle 20 Schnittstellen aufweist, um mindestens deren Einstellzustand zu erfassen und bei Bedarf zu beeinflussen, und Bedienelemente zur anwendungsspezifischen Steuerung vorhanden sind, um die Strahlungsquelle in Abhängigkeit von übertragenen Zustands- und Diagnosedaten und eingegebenen Anwendungserfordernissen zu beeinflussen, besteht.

Die Energiemonitoreinheit enthält vorzugsweise einen Detektor zur Bestimmung der EUV-Impulsenergie für jeden einzelnen Impuls. Um Energiewerte, die von Degradationseffekten im Detektor (und ggf. an Spiegeln) weitgehend befreit sind, messen zu können, weist die Energiemonitoreinheit vorteilhaft einen zusätzlichen zweiten Detektor zur Bestimmung der absoluten EUV-Impulsenergie auf, der nur von Zeit zu Zeit für Vergleichsmessungen mit der aus dem Plasma emittierten Strahlung beleuchtet wird und zur Kalibrierung des ersten Detektors vorgesehen ist. Ein Vergleich der ausgelesenen Energiewerte von erstem und zweitem Energiedetektor erlaubt die Kalibrierung der Messwerte auf absolute Werte. Da der zweite Energiedetektor nur selten und kurzzeitig für die Kalibrierung verwendet und für die übrige Zeit verdeckt wird, ist die Degradation des zweiten Detektors durch die auftreffende Strahlung gering und die absolute Kalibrierung der Energiemonitor-
einheit bleibt für lange Zeit erhalten. Die Energiemonitoreinheit dient weiterhin dem Erreichen einer reproduzierbaren, absoluten Strahlungsdosis in der Anwendung. Durch Aufsummieren der Energien der einzelnen Impulse eines Bursts (Burstdauer = Aneinanderreihung von Strahlungsimpulsen mit fester Wiederholrate) wird die Strahlungsdosis aus dem Produkt aus Impulszahl und Impulsenergie errechnet. Eine durch Puls-zu-Puls-Schwankungen der Impulsenergie sich ergebende Abweichung zwischen Soll- und Ist-Wert der Dosis kann durch Regelung der Impulsenergien innerhalb des Bursts ausgeglichen werden. Dazu berechnet die Hauptsteuereinheit mit aus den kalibrierten Energiewerten des ersten Energiedetektors die tatsächliche gegenüber der erforderlichen Dosis, wobei die Größe des Energieeintrags für die Plasmaerzeugung in der Plasmaerzeugungseinheit geregelt wird.

Die Strahlungsdiagnoseeinheit kann zweckmäßig einen Spektrographen zur Bestimmung der spektralen Verteilung der emittierten Strahlung aufweisen. Vorzugsweise wird dabei der Spektrograph durch einen zusätzlichen Kalibrierungsdetektor zur Bestimmung der Ausgangsenergie oder Leistung der EUV-Strahlungsquelle ergänzt. Die Funktion des Kalibrierungsdetektors kann aber auch von den Detektoren der Energiemonitoreinheit mit übernommen werden. In einer anderen vorteilhaften Gestaltung weist die Strahlungsdiagnoseeinheit mehrere Sensoren unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit auf, wobei die Lichtausbeute in definierten Spektralintervallen gemessen wird. Dazu sind in der

Strahlungsdiagnoseeinheit vorzugsweise mehrere Photodioden mit unterschiedlichen Kantenfiltern vorhanden, wobei durch Differenzbildung von gemessenen Intensitätswerten der mit unterschiedlichen Filtern bestückten Photodioden die Lichtausbeute in definierten Spektralintervallen ermittelt werden kann. Ein 5 überproportionaler Anstieg des infraroten Anteils der emittierten Strahlung kann bei Gasentladungsplasmen auf eine zu hohe ElektrodenTemperatur hinweisen, wobei die Elektrodendurch Glühen vermehrt infrarote Strahlung emittieren. Eine kurze Betriebspause senkt die ElektrodenTemperatur und somit den infraroten Strahlungsanteil. Ein bei laserinduzierten Plasmen gleichartiger Effekt durch das 10 Glühen des Targetsystems kann durch die gleiche Maßnahme reduziert werden. Zweckmäßig weist die Strahlungsdiagnoseeinheit auch Mittel zum Bestimmen und Vergleichen der gemessenen Strahlungsanteile im gewünschten EUV-Spektralbereich (in-band) und außerhalb des gewünschten EUV-Bereiches (out-of-band) auf, wobei durch Vergleich der Intensitätswerte von einzelnen Spektralintervallen untereinander 15 die Beschaffenheit des Plasmas analysierbar ist und Einstellgrößen für die Plasmaerzeugungseinheit ableitbar sind. Eine Verschiebung des Maximums in der spektralen Verteilung aus dem EUV-Bereich zu längeren Wellenlängen ist ein Zeichen für eine verringerte Effizienz der Erzeugung der EUV-Strahlung und deutet auf eine geringere Temperatur des erzeugten Plasmas hin. Bei einer Plasmaerzeugungseinheit auf Basis 20 einer Gasentladung kann dieser Erscheinung durch Anlegen einer höheren Spannung an die Elektroden oder durch Reduzierung des Druckes des Arbeitsgases entgegengewirkt werden. Bei laserinduzierten Plasmaerzeugung wird die Temperatur des Plasmas durch Erhöhung der Laser-Impulsenergie oder durch eine Fokussierung der Laserstrahlung auf einen kleineren Fleck erreicht werden.

25 In der Strahlungsdiagnoseeinheit ist vorteilhaft eine EUV-sensitive Kamera enthalten, um Größe und Lage des Quellortes der Strahlung im Plasma genauer bestimmen zu können. Die Kamera kann weiterhin mit einem abbildenden optischen System, vorzugsweise einem reflektierenden Mehrschichtspiegel-System, zur Bestimmung der Winkelverteilung der vom Plasma erzeugten aus der Vakuumkammer austretenden 30 EUV-Strahlung kombiniert werden. Bei Gasentladungsquellen deutet die Verschiebung des Quellortes auf eine Verformung der Elektroden durch Erosion hin, wobei durch rechtzeitige Erneuerung der Elektroden der Quellort wieder an seinen ursprünglichen Ort verlegt werden kann. Die erforderlichen Wartungsarbeiten können besser im Voraus geplant und an die Betriebzeiten der Strahlungsquelle im

Mess- oder Produktionsprozess angepasst werden. Beim laserinduzierten Plasma ist eine Änderung der Lage des Quellortes auf eine Verschiebung des des Laserfokus zurückzuführen. Dieser wird geeignet nachgeführt oder z.B. durch Verwendung eines Autofokussystems in die ursprüngliche Lage zurückjustiert.

5 Außerdem wird vorteilhaft ein schneller EUV-Detektor mit Ansprechzeiten von wenigen Nanosekunden (oder kürzer) für die Bestimmung der Impulsform der emittierten Strahlung in der Strahlungsdiagnoseeinheit verwendet. Zweckmäßig ist wenigstens ein weiterer schneller EUV-Detektor für Rekalibrierungszwecke des ersten schnellen EUV-Detektors vorgesehen. Eine lange Emissionsdauer ist vorteilhaft für 10 eine gute Emissionsausbeute, da bei gleicher eingekoppelter Energie die Impulsenergie, die sich aus dem Integral der Intensität über die Zeit ergibt, größer ist. Durch geeignete Wahl der Komponenten im elektrischen Entladungskreis einer Gasentladungsquelle kann eine Anpassung vorgenommen werden, sodass die Emissionsdauer maximal ist. Bei einer laserbasierten Plasmaerzeugung wird maximale 15 Impulsdauer bereits durch die Wahl des Aufbaus und Typs des Lasers festgelegt.

In einer ersten vorteilhaften Basisvariante enthält die Plasmaerzeugungseinheit ein Hochspannungsmodul zur Erzeugung einer Hochspannung für eine Gasentladung sowie ein Entladungsmodul mit für eine Gasdurchströmung geeignet geformten 20 Elektroden, wobei eine gepulste Spannungsbeaufschlagung der Elektroden als Energieeintrag für die Plasmaerzeugung vorgesehen ist, und weist ein Gasversorgungsmodul für die Gasdurchströmung der Elektroden auf, das in der Vakuumkammer ein Arbeitsgas in einer für die Plasmaerzeugung geeigneten Zusammensetzung bereitstellt.

25 Dabei enthält das Hochspannungsmodul zweckmäßig eine Kondensatorbank, die in kurzen Zeiten aufladbar und mittels eines Schaltelements und eines elektrischen Schaltkreises über die Elektroden des Entladungsmoduls entladbar ist. Im Hochspannungsmodul können zusätzlich magnetische Kompressionsstufen zur Verkürzung der Stromanstiegszeiten und weitere Kondensatorbänke integriert sein.

30 Zweckmäßigerweise steht das Hochspannungsmodul bezüglich Einstellung von Spannung und Ladegeschwindigkeit mit der Hauptsteuereinheit in Verbindung, wobei zur Bestimmung des Zeitpunktes der Entladung mittels eines externen Signals von der Hauptsteuereinheit eine Triggerung des Hochspannungsmoduls vorgesehen ist.

Zur Reduzierung des Bedarfs an Arbeitsgas für die Gasentladung ist vorteilhaft ein Gas-Recycling-Modul vorhanden, das zur Aufnahme und Aufbereitung von aus der Vakuumkammer abgepumptem Gas an die Vakumerzeugungseinheit angeschlossen ist und andererseits mit dem Gasversorgungsmodul in Verbindung steht.

5 Zum Auslösen der Gasentladung weist das Entladungsmodul zweckmäßig zwei konzentrisch angeordnete Elektroden, die mit einer Isolatorscheibe voneinander separiert sind, für eine sogenannte Plasmafokus-Entladung auf. Eine andere gleichwertige Elektrodenanordnung zur Realisierung im Entladungsmodul sind zwei für eine Z-Pinch-Entladung ausgelegte gegenüberliegende Elektroden, die durch ein Isolatorröhrchen getrennt sind. Durch Verringerung auf einen sehr kleinen Innendurchmesser des Isolatorröhrchens lässt sich diese Elektrodenanordnung zu einem für eine Kapillar-Entladung geeigneten Aufbau modifizieren.

10 Ferner ergibt sich eine weitere Gestaltung der Elektroden zur Plasmaerzeugung, wenn im Entladungsmodul zwei gegenüberliegende Elektroden vorhanden sind, wobei die Katode einen Hohlraum aufweist, in dem die Plasmazündung stattfindet; diese Anordnung ist als hohlkatoden-getriggerte Pinch-Entladung bekannt.

20 In einer zweiten Basisvariante der Strahlungsquelle weist die Plasmaerzeugungseinheit vorteilhaft ein Lasermodul, mit dem das Plasma durch Laserbeschuss eines Targets in der Vakuumkammer erzeugt wird und das mit Steuerungskomponenten zur Eigenregelung des Lasers auf Basis einer Laserstrahlkontrolle ausgestattet ist, und ein steuerbares Targetgeneratormodul, das für die Erzeugung eines bezüglich Aggregatzustand, Temperatur und Form definierten Targetstroms für den 25 Laserbeschuss vorgesehen ist, auf.

Das Lasermodul enthält zweckmäßig eine Einrichtung zur Laserstrahldiagnose, die eine Leistungs- und Impulsenergiemessung des Laserstrahls beinhaltet. Zusätzlich kann dem Lasermodul eine Fokussiereinrichtung für den Laserstrahl, insbesondere eine Autofokuseinrichtung, zugeordnet sein.

30 Vorzugsweise für die Ausführungsvariante der laserinduzierten Plasmaerzeugung ist in der Vakuumkammer ein optisches Element als Kollektortoptik zur Bündelung der aus dem Plasma emittierten Strahlung angeordnet, wobei die Kollektortoptik ein gewölbter Mehrschichtspiegel und so angeordnet ist, dass die nutzbare Intensität des aus dem Austrittsfenster austretenden Lichtbündels erhöht wird.

Zur Absorption von Partikeln, die mit der erwünschten Strahlung aus dem Plasma emittiert werden, ist zweckmäßig eine Debrisfiltereinheit vorgesehen ist, wobei ein Debrisfilter zwischen dem Plasma und optischen Elementen einer Kollektortoptik, die zum Formen und Bündeln der aus der Austrittsöffnung der Vakuumkammer austretenden Strahlung vorgesehen ist, angeordnet.

Um den Verbrauch an Targetmaterial zu verringern, ist die Vakumerzeugungseinheit vorteilhaft in ein Target-Recycling-Modul eingebunden ist, wobei in der Vakuumkammer gegenüber dem Targetgeneratormodul eine Auffangeinrichtung für Targetreste, die über einen Verdichter abgesaugt werden, angeordnet ist und die Ausgänge von Verdichter und Vakumerzeugungseinheit zur Rückführung nicht verbrauchten Targetmaterials mit dem Targetgeneratormodul verbunden sind.

Die Vakumerzeugungseinheit weist in jeder Grundvariante der Strahlungsquelle eine Verknüpfung mit der Hauptsteuereinheit auf, mit der eine Einstellung des erforderlichen Drucks für die Plasmaerzeugung in der Vakuumkammer vorgesehen ist.

In einer vorteilhaften Ausführung enthält die Hauptsteuereinheit sämtliche Steuerungen und Regelungen für alle Einheiten und Module, wobei entsprechende Datenschnittstellen zur Übertragung von Messgrößen und Einstellgrößen vorhanden sind, um alle Funktionen und Zustände der Strahlungsquelle zu überwachen und koordiniert zu steuern.

Alternativ kann die Hauptsteuereinheit aber auch nur anwendungsorientierte Steuerfunktionen für die Einheiten und Module der Strahlungsquelle bereitstellen und eine Havarie- und Störungsüberwachung aufweisen, wobei alle Einheiten und Module eigenständige Steuerungs- und Regelungssysteme, die mit der Hauptsteuerungseinheit in Datenverbindung stehen, enthalten.

Mit der Erfindung ist es möglich, eine Strahlungsquelle zur Erzeugung von extrem ultravioletter (EUV-) Strahlung zu realisieren, die bei anwendungsspezifischer Flexibilität des Quellenkonzepts einen einheitlichen Grundaufbau zur Sicherung langfristig reproduzierbarer Strahlungseigenschaften gestattet.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: den Grundaufbau einer erfindungsgemäßen EUV-Strahlungsquelle unabhängig vom Prinzip der Plasmaerzeugung,

Fig. 2: eine Gestaltungsvariante für eine EUV-Strahlungsquelle auf Basis einer Gasentladung,

5 Fig. 3: eine besonders vorteilhafte Ausführung der Strahlungsdiagnoseeinheit mit einzelnen spektralen Sensoren und EUV-Kamera für winkelabhängige Messungen,

Fig. 4: eine vorteilhafte Gestaltung einer laserbasierten EUV-Strahlungsquelle,

10 Fig. 5: eine zweckmäßige Ausführung eines Target-Recyclings für eine laserbasierten Strahlungsquelle.

Die erfindungsgemäße Strahlungsquelle besteht in ihrem Grundaufbau – wie er in Fig. 1 schematisch gezeigt ist – aus einer Vakuumkammer 1 zur Erzeugung des Plasmas 11, an die eine Vakuumerzeugungseinheit 2 zur Einstellung eines definierten niedrigen Innendruckes (Vakuum) angeschlossen ist, einer Plasmaerzeugungseinheit 3 zur Erzeugung eines dichten heißen Plasmas 11, einer Energiemonitoreinheit 4, einer Strahlungsdiagnoseeinheit 5 und einer Hauptsteuereinheit 6 zur Einstellung und Überwachung der stabilen und reproduzierbaren Funktion der vorgenannten Einheiten.

20 Die Gliederung der Strahlungsquelle in verschiedene Einheiten oder Module kann nach Zweckbestimmung der Anwendung sowie Art und Weise der Plasmaerzeugung weiter spezialisiert und zahlenmäßig erweitert oder aber auch unter anderen Gesichtspunkten zusammengefasst sein. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird in der nachfolgenden Beschreibung von einer definierten Überwachungs- und Steuerungsstruktur der EUV-Strahlungsquelle ausgegangen, um sowohl eine Kompatibilität zu unterschiedlichen Anwenderforderungen als auch eine hinreichende Stabilität der Strahlungsparameter über die gesamte Lebensdauer hinweg zu gewährleisten.

25 30 Die Plasmaerzeugungseinheit 3, die weiter unten noch genauer spezifiziert wird, generiert in der Vakuumkammer 1 ein dichtes und heißes Plasma 11, das – bei geeigneter Steuerung der Plasmaerzeugung – in erheblichem Maße extrem ultraviolette Strahlung 12 emittiert. Zur Erzeugung und Aufrechterhaltung eines definierten niedrigen Druckes ist an die Vakuumkammer 1 eine Vakuum-

erzeugungseinheit 2 angeschlossen, die außer einer oder mehreren Vakuumpumpen Vakuumventile und Drucksensoren (z.B. Druck-Messröhren) enthält.

Infolge der mechanischen Begrenzung der Austrittsöffnung 13 als optische Schnittstelle zur Anwendung ist die emittierte Strahlung 12 nur in einem begrenzten

5 Raumwinkel für die Anwendung nutzbar. Unter diesem Gesichtspunkt sind auf diesen Raumwinkel und eine kleine Umgebung um ihn herum Maßnahmen beschränkt, die dem Schutz von optisch wirksamen Oberflächen oder optoelektronisch empfindlichen Materialien dienen. Da das Plasma außer der beabsichtigten Strahlung 12 auch geladenen und neutrale Teilchen generiert, die sich 10 z.B. auf die Reflexionseigenschaften von Spiegeln und die Empfindlichkeit von Detektoren negativ auswirken, wird in diesem Raumwinkel der Strahlung 12 eine Debrisfiltereinheit 7 angeordnet; die solche Teilchen zurückhält. Dabei wird die Strahlung 12 – im Gegensatz zu optischen Filtern – in der Regel nicht durch Filterschichten geleitet, da letztere ebenfalls nicht langzeitstabil wirken und außerdem 15 die gewünschte EUV-Strahlung unnötig schwächen. Die Debrisfiltereinheit 7 basiert deshalb auf Adhäsionseffekten oder Strömungseffekten oder deren Kombination sowie Überlagerung mit elektrischen und/oder magnetischen Feldern. Hierfür geeignete Debrisfilter sind beispielsweise in den (nicht vorveröffentlichten) Patentanmeldungen DE 102 15 469.4 und DE 102 37 901.7 beschrieben, von denen 20 die letztgenannte Lösung in Fig. 1 stilisiert dargestellt ist.

In unmittelbarer Nachbarschaft oder direkt in dem begrenzten Raumwinkel der Strahlung 12 sind zur Gewinnung geeigneter Steuerungssignale für die Plasmaerzeugungseinheit 3 wenigstens Detektoren oder Sensormodule der Energiemonitoreinheit 4 zur Energiemessung der aus dem Plasma 11 emittierten 25 Strahlung 12 und der Strahlungsdiagnoseeinheit 5 zur Analyse der Strahlungscharakteristik angeordnet. Mit den daraus abgeleiteten Messergebnissen werden über die Hauptsteuereinheit 6 die Bedingungen der Plasmaentstehung in der Vakumerzeugungseinheit 2 und der Plasmaerzeugungseinheit 3 überprüft und erforderlichenfalls neu eingestellt (gesteuert).

30 Vakumerzeugungseinheit 2 und Plasmaerzeugungseinheit 3 haben mindestens teilweise eigene Steuerungen, die jeweils mit der Hauptsteuereinheit 6 kommunizieren. Die Hauptsteuereinheit 6 verwendet die Eingangssignale (Einstellgrößen) von den einzelnen Einheiten bzw. deren Steuerungen oder Regelkreisen, um die Eigenschaften der Strahlungsquelle konstant zu halten und alle

Parameter innerhalb der vorgegebenen Wertebereiche zu stabilisieren. Außerdem weist die Hauptsteuereinheit 6 eine elektronische Schnittstelle zur Anwendung auf und kann ein Bedienerterminal darstellen, mit dem über eine Bedieneroberfläche (nicht dargestellt) bestimmte anwendungsspezifische Einstellungen von Parametern 5 geändert werden können. Insofern beeinflusst die Hauptsteuerung 6 auch Grund- einstellungen von Parametern der Steuerungen der Vakumerzeugungseinheit 2 und der Plasmaerzeugungseinheit 3.

10 Im Folgenden werden die Einheiten und Module der erfindungsgemäßen EUV- Strahlungsquelle an zwei Beispielen für unterschiedliche Konzepte der Plasma- erzeugung eingehender erläutert.

Beispiel 1: Strahlungsquelle auf Basis eines Gasentladungsplasmas

15 Es sind eine Vielzahl von Gestaltungen von EUV-Strahlungsquellen auf Basis von Gasentladungen bekannt, die sämtlich darauf aufbauen, dass sich in einem Arbeitsgas unter geringem Druck gepulst erzeugte Hochspannung über rotationssymmetrische Elektroden entlädt. Die dabei entstehenden hohen Stromdichten führen dazu, dass das Entladungsplasma zu einem heißen Plasma auf engstem Raum „implodiert“.

20 Für eine solche Gasentladung beinhaltet die Plasmaerzeugungseinheit 3 gemäß Fig. 2 ein Entladungsmodul 31 mit für eine Gasdurchströmung geeignet geformten Elektroden 32, ein Hochspannungsmodul 33 zur Erzeugung der erforderlichen Hochspannung und für die Gasdurchströmung der Elektroden 32 ein Gasversorgungsmodul 35, das in der Vakuumkammer 1 ein Arbeitsgas (das z.B. einen wesentlichen Anteil eines Edelgases, vorzugsweise Xenon enthält) in einer für die 25 Plasmaerzeugung geeigneten Zusammensetzung bereitstellt.

Das Hochspannungsmodul 33 weist dabei eine Kondensatorbank auf, die in kurzen Zeiten aufladbar und mittels eines Schaltelements und eines elektrischen Schaltkreises über die Elektroden 32 des Entladungsmoduls 31 entladbar ist. Außerdem können im 30 Hochspannungsmodul 33 magnetische Kompressionsstufen zur Verkürzung der Stromanstiegszeiten sowie weitere Kondensatorbänke integriert sein.

Das Hochspannungsmodul 33 steht bezüglich Spannung und Ladegeschwindigkeit mit der Hauptsteuereinheit 6 in Verbindung, wobei eine Triggerung des

Hochspannungsmoduls 33 zur Bestimmung des Zeitpunktes der Entladung durch ein externes Signal von der Hauptsteuereinheit 6 vorgesehen ist.

Um den Bedarf an Arbeitsgas für die Gasentladung gering zu halten, ist an das Gasversorgungsmodul 35 ein Gas-Recycling-Modul 93 angeschlossen, das zur 5 Aufnahme und Aufbereitung von aus der Vakuumkammer 1 abgepumptem Gas mit der Vakuumerzeugungseinheit 2 in Verbindung steht. Mit Hilfe des Gas-Recycling-Moduls 93 kann das Arbeitsgas hinter einer Vakuumpumpe der Vakuumerzeugungseinheit 2 aufgefangen, mit Filtern gereinigt und in einen Vorratsbehälter für Arbeitsgas des Gasversorgungsmoduls 35 zurückgeleitet werden. Diese Gasrückgewinnung minimiert den Gasverbrauch der Strahlungsquelle und reduziert dadurch 10 die Betriebskosten.

Da das Gasversorgungsmodul 35 den erforderlichen Gasstrom im Entladungsmodul 31 liefert und dadurch direkt die Drucksteuerung der Vakuumerzeugungseinheit 2 beeinflusst, ist das Gasversorgungsmodul 35 regelungstechnisch eng mit der 15 Vakuumerzeugungseinheit 2 gekoppelt. Gemäß Fig. 2 erfolgt die gegenseitige Beeinflussung über die Hauptsteuereinheit 6, könnte aber ebenso gut im Direktkontakt zwischen Vakuumerzeugungseinheit 2 und Gasversorgungsmodul 35 ablaufen. Über die Verbindung zwischen Vakuumerzeugungseinheit 2 und Hauptsteuereinheit 6 zur Erzeugung und Aufrechterhaltung des Vakuums wird in der 20 Vakuumkammer 1 die Einstellung des erforderlichen Drucks für die Plasmaerzeugung 1 gesteuert. Zugleich wird der Druck in der Vakuumkammer 1 bei einer gasentladungsgepumpten EUV-Quelle aber auch durch das Gasversorgungsmodul 35 beeinflusst. Deshalb steht die Hauptsteuereinheit 6 auch mit diesem in Verbindung.

Die Vakuumerzeugungseinheit 2 besteht aus Vakuumpumpen, Vakuumventilen und 25 Drucksensoren (z.B. Druck-Messröhren). Diese Komponenten werden durch die Vakuumerzeugungseinheit 2 selbst kontrolliert oder sind (zumindest teilweise) in die Hauptsteuereinheit 6 integriert. Der notwendige Druck im Entladungsbereich des Entladungsmoduls 31 wird in jedem Fall durch die Hauptsteuereinheit 6 vorgegeben. Der gemessene Druck in der Vakuumkammer 1 (oder an verschiedenen Stellen des 30 gesamten Vakuumsystems) sowie ein gemessener Gasfluss durch einen Gaseinlass zur Bereitstellung des Arbeitsgases aus dem Gasversorgungsmodul 35 in das Entladungsmodul 31 hinein liefern die Eingangssignale für die Vakuumerzeugungseinheit 2.

Um den notwendigen Gasdruck in der Vakuumkammer 1 einzustellen, kann die Vakuumerzeugungseinheit 2 die Pumpleistung, die Öffnung eines Absaugvents ("Downstreamventil") vor der Vakuumpumpe oder den Gasfluss durch den Gaseinlass mit Hilfe eines Nadelvents oder eines Durchflussdosierers (MFC – Mass Flow Controller) variieren oder eine Kombination aus diesen drei Möglichkeiten wählen. Der MFC variiert vorgegebene Flussraten durch ein eingebautes Ventil und misst diese unter Nutzung von Wärmeleitungseffekten. Der benötigte Druck in der Vakuumkammer 1 kann einerseits vorteilhaft durch eine Kombination aus einem Nadelventil mit fest eingestelltem Gasfluss und einem regelbaren Ventil, das die Saugleistung einer Vakuumpumpe durch Änderung des Querschnittes der Ansaugleitung variiert, eingestellt werden. Andererseits lässt sich auch eine Vakuumpumpe mit fester Pumpleistung anwenden, wenn mit einer Kombination aus elektrisch gesteuertem Nadelventil und Messgerät zur Bestimmung des Gasflusses, basierend auf thermischen Messmethoden (wie z.B. in bekannten MFC) gearbeitet wird.

An den Koppelstellen (Flanschen) von verschiedenen Modulen angebrachte Schiebeventile 14 (in Fig. 2 stilisiert und nur beispielhaft bei Energiemonitoreinheit 4 und Strahlungsdiagnoseeinheit 5 gezeigt) ermöglichen den Austausch von allen Modulen oder Einheiten, während die übrigen Komponenten unter Vakuum verbleiben. Dies verkürzt die erforderlichen Zeiten für Wartungsarbeiten, da nicht die gesamte Strahlungsquelle erneut evakuiert werden muss.

Das Entladungsmodul 31, das zur Erzeugung des Plasmas 11 als angeflaschter Teil der Vakuumkammer 1 ausgeführt ist, kann mit verschiedensten Elektrodenkonfigurationen realisiert sein. Es besteht aus einer Anordnung von zwei Elektroden 32 und dazwischen angeordneten Isolatoren, die die Elektroden 32 voneinander separieren.

Wie in allen solchen gasentladungsgepumpten Strahlungsquellen werden im Entladungsmodul 31 bei Unterdruck (Vakuum) wiederholt Hochspannungsimpulse an die Elektroden 32 angelegt. Die in der Kondensatorbank des Hochspannungsmoduls 30 33 gespeicherte Energie wird über einen niederinduktiven Schaltkreis den Elektroden 32 zugeführt. Das durch eine Gasentladung erzeugte Plasma 11 besitzt in allen Fällen ähnliche Eigenschaften, wie z.B. eine Elektronen-Temperatur (thermische Energie) im Bereich von 5-50 eV und eine Dichte im Bereich von $10^{17} - 10^{20}$ Teilchen/cm³. Die

geometrische Anordnung der Elektroden 32 und der abschirmenden Isolatoren des Entladungsmoduls 31 wird von der Art des Entladungskonzeptes bestimmt.

In Fig. 2 ist ein sogenannter Z-Pinch-Aufbau mit zwei gegenüberliegende Elektroden 32, die durch ein Isolatorröhren 34 getrennt sind, stilisiert dargestellt. Zu einem

5 ähnlichen stabförmig geformtem Plasma 11 führen aber auch zwei konzentrisch angeordnete zylinderförmige Elektroden 32, die mit einer Isolatorscheibe voneinander separiert sind, und eine Plasmafokus-Entladung erzeugen. Eine Kapillar-Entladung wird konzipiert, indem der Innendurchmesser des Isolatorröhrens eines Z-Pinch Aufbaus sehr klein ausgeführt wird. Gleichwertige Plasmen können weiterhin durch
10 eine hohlkatoden-getriggerte Pinch-Entladung mittels zwei gegenüberliegenden konzentrischen Elektroden, von denen die Katode einen Hohlraum aufweist, in dem die Plasmazündung stattfindet, erzielt werden.

Der modulare Aufbau, wie er durch die Vakuumkammer 1 mit angeschlossener Vakuumerzeugungseinheit 2, die Plasmaerzeugungseinheit 3 und die peripheren

15 Messeinheiten, Energiemonitoreinheit 4 und Strahlungsdiagnoseeinheit 5, vorgegeben ist, kann für alle vorgenannten Gestaltungen eines Entladungsmoduls 31 eingesetzt und beliebig modifiziert werden. Gewechselt werden muss lediglich das an die Vakuumkammer 1 angesetzte Entladungsmodul 31 mit entsprechend unterschiedlich gestalteten Elektroden 32. Dazu eignet sich vor allem eine
20 Vakuumkammer 1 in konischer (Kegelstumpf-) Form, wie sie in Fig. 2 stilisiert dargestellt ist, bei der das Entladungsmodul 31 in die Deckfläche des Kegelstumpfes eingesetzt und angeflanscht wird und die Grundfläche die Austrittsöffnung 13 für die Strahlung 12 beinhaltet. In gleicher Art lässt sich jedoch auch eine Kugelform der Vakuumkammer 1 bewerkstelligen, wenn das Entladungsmodul 31 in die Kugel
25 hineinragt, um das Plasma 11 möglichst nahe der Kugelmitte zu erzeugen. Mit gleichen Vorgaben ist auch zylindrische Vakuumkammer 1 einsetzbar.

Eine wesentliche Einrichtung zur Realisierung der EUV-Strahlungsquelle mit stabiler Strahlungsleistung und großer Langzeitstabilität stellt die Energiemonitoreinheit 4

30 dar.

Die Energiemonitoreinheit 4 misst die Energie pro Strahlungsimpuls. Sie kann zusätzlich die mittlere Ausgangsleistung (Dosis) der Strahlungsquelle erfassen. Sie besteht aus einem Detektor 41, der mit einem Filter zur Einschränkung des gemessenen Wellenlängenbereiches versehen ist. Das Filter wird typischerweise durch

einen oder mehrere Mehrschichtspiegel gebildet, die aufgrund ihrer Reflexionscharakteristik in der Art eines Bandpassfilters den gewünschten Wellenlängenbereich im EUV-Spektralbereich einschränken. Dadurch trägt nur Strahlung aus dem Wellenlängenbereich, der für die Anwendung relevant ist, zum 5 Signal bei. Ein zusätzliches dünnes Metallfilter absorbiert Strahlung im sichtbaren, ultravioletten und infraroten Bereich. Der Detektor 41 ist typischerweise eine Photodiode, eine Vielkanalplatte, ein Diodenarray oder eine CCD-Kamera.

Da der Detektor 41 der Energiemonitoreinheit 4 ständig der aus dem Plasma 11 emittierten Strahlung ausgesetzt ist, ändert typischerweise seine Eigenschaften durch

10 Alterung. Ebenso kann sich das Reflexionsvermögen verwendeter Spiegel durch Verdampfen/Abtragen (Ablation) von Spiegelmaterial oder durch Ablagerungen von Teilchen aus der Gasphase ändern. Die Empfindlichkeit des Detektors 41 kann also außer durch interne elektronische Degradation durch weitere Alterungsprozesse im Umfeld, die proportional zur eingestrahlten Dosis sind, abfallen. Deshalb ist die

15 Energiemonitoreinheit 4 um Elemente ergänzt, die die Alterungseffekte durch Kontrollmessungen erfasst und deren Kompensation auslöst.

Die Reflexionsverluste der Spiegel können z.B. durch „online“-Messungen der Absorption durch Kalorimetrie bestimmt werden, da geringeres Reflexionsvermögen der Spiegel zu einer höheren Absorption und einer damit verbundenen

20 Temperaturerhöhung führt. Die Degradation des Detektors 41 wird durch wiederholte Messungen über neue Spiegel und Vergleich zum ursprünglichen Signal gemessen. Dazu wird ein zweiter Energiedetektor, Rekalibrierungsdetektor 42, in der Energiemonitoreinheit 4 installiert, der im Normalbetrieb durch eine mechanische Anordnung vom Quellort (Plasma 11) der Strahlung 12 abgeschaltet wird. Von Zeit

25 zu Zeit (z.B. einmal täglich) wird der Rekalibrierungsdetektor 42 zugeschaltet und simultan mit dem ersten Detektor 41 betrieben. Die Signale der beiden Energiedetektoren 41 und 42 werden verglichen und dadurch eine Kalibrierung des ersten Detektors 41 vorgenommen.

Das Signal des Detektors 41 der Energiemonitoreinheit 4 wird von der

30 Hauptsteuereinheit 6 unter Anwendung geeigneter Kalibrierfaktoren zur Bestimmung der Ausgangsleistung der Strahlungsquelle verwendet. Die Hauptsteuereinheit 6 wählt daraus die geeigneten Parameter für die Entladung, um die Ausgangsleistung im geforderten Wertebereich zu stabilisieren.

Als weitere wesentliche Messeinrichtung zur Steuerung der EUV-Strahlungsquelle ist eine Strahlungsdiagnoseeinheit 5 zur Bestimmung der Strahlungseigenschaften des Plasmas 11 vorhanden. Sie stellt eine Zusammenstellung verschiedener nachfolgend aufgeführter Messmodule dar, die relativ frei und unabhängig voneinander 5 miteinander kombinierbar sind, wobei jedoch die beiden erstgenannten als notwendig anzusehen sind:

- ein spektrographisches Modul zur Bestimmung der spektralen Verteilung der Strahlung,
- eine EUV-Kamera, die die Quellgröße und deren Lage bestimmt,
- 10 - ein abbildendes System zur Bestimmung der Winkelverteilung der Strahlung,
- ein schneller EUV-Detektor zur Bestimmung der Impulsform der emittierten Strahlung,

Das spektrographische Modul kann – wie in Fig. 2 zu erkennen – einen 15 herkömmlichen Spektrographen 51 enthalten. Dieser kann zusätzlich zur Bestimmung der Ausgangsenergie bzw. -leistung der EUV-Quelle verwendet werden, sofern er durch einen internen EUV-Detektor 52 oder die Energiemonitoreinheit 41 der Strahlungsquelle kalibriert wird. Der Spektrograph 51 ist im Wesentlichen zur 20 Bestimmung der emittierten Strahlung im nutzbaren EUV-Wellenlängenbereich (in-band-Strahlung) und der emittierten Strahlung, die nicht im gewünschten EUV-Wellenlängenbereich liegt (out-of-band-Strahlung), vorgesehen. Durch die Auswertung des Verhältnisses von in-band- zu out-of-band-Strahlungsanteilen, wird 25 auf die Änderung der Temperatur des Plasmas 11 hingewirkt. Ist das Maximum der Emission zu kürzeren Wellenlängen verschoben, so ist die Plasmatemperatur zu hoch, bei einer Verschiebung in den langwelligen Spektralbereich zu niedrig. Die Plasmatemperatur kann erhöht werden, indem mehr Energie in das Plasma deponiert wird. Bei einem Gasentladungsplasma wird die Entladespannung erhöht, bei laserinduziertem Plasma die Laserintensität.

30 Als spektrographisches Modul kann in der Strahlungsdiagnoseeinheit 5 – wie in Fig. 3 vereinfacht dargestellt – kostengünstig, platzsparend und speziell an Anwendungsfordernisse angepasst, eine Anordnung von mehreren spektral selektiven Sensoren 53 installiert sein. Die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit der Sensoren 53 wird durch Kombinationen von Photodioden mit unterschiedlichen Spektralfiltern 54,

die nur für Strahlung in bestimmten Spektralbereichen (außerhalb des gewünschten EUV-Wellenlängenbereiches) transparent sind, ausgewählt.

Sensoren 53 für Out-of-band-Strahlung können z.B. aus einer Photodiode (oder einem anderen Leistungsmessgerät) hinter einem Kalziumfluorid-Fenster bestehen, so dass die Strahlung 12 im Wellenlängenbereich oberhalb von 130 nm detektiert werden kann. Weitere Sensoren 53 können durch Einsatz anderer Filter 54 in Kombination mit weiteren Photodioden (oder anderen Leistungsmessern) realisiert werden. Materialien für solche Filter 54 und die dahinter detektierbaren Wellenlängenbereiche sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

10

Filter-Material	Transmittierte Wellenlängen
Glas	> 400 nm
Kalziumfluorid	> 130 nm
Aluminium	ca. 17 – 70 nm
Niobium	ca. 6 – 16 nm
Siliziumnitrid oder Silizium	ca. 12 – 18 nm
Beryllium	ca. 11 – 25 nm

In einem Auswertemodul 55, das gemäß Fig: 3 in der Strahlungsdiagnoseeinheit 5 angesiedelt ist, aber auch Bestandteil der Hauptsteuereinheit 6 sein könnte, lassen sich durch Differenzbildung von Signalen aus Sensoren 53 mit unterschiedlichen

15 Filtern 54 die Anteile der Strahlung 12 in bestimmten Wellenlängenintervallen bestimmen. So ergibt z.B. das Differenzsignal eines Sensors 53 hinter Glas und eines hinter Kalziumfluorid die Strahlungsleistung des Plasmas 11 im Wellenlängenbereich von 130 nm bis 400 nm.

20 Soll die EUV-Strahlungsquelle z.B. in der Anwendung mit einem optischen Präzisionsstrahlengang eingesetzt werden, muss für reproduzierbare Strahlungserzeugung die Position des Plasmas 11 laufend überprüft werden. Zur Bestimmung des Quellortes der Strahlung 12 ist deshalb in der Strahlungsdiagnoseeinheit 5 eine EUV-Kamera 56 vorhanden, die als Lochblenden-
25 Kamera ausgeführt sein kann oder – wie in Fig. 3 gezeigt – in Verbindung mit einer abbildenden Optik 57, als geformter reflektierender Mehrschichtspiegel, eingesetzt ist.

Insbesondere durch Abbrand der Elektroden 32 kann es zu örtlichen Verschiebungen des Plasmas 11 kommen, die in der Austrittsöffnung 13 nachfolgenden optischen Systemen (nicht dargestellt) durch Justage ausgeglichen werden müssen. Daher ist der Einsatz einer EUV-Kamera 56 zur Lagebestimmung des Plasmas 11 unerlässlich.

5 Unter Verwendung des bekannten Abbildungsmaßstabes der EUV-Kamera 56 ist auch die Bestimmung der Quellgröße sowie der Lagestabilität des Plasmas 11 möglich und sinnvoll. Da der Austrittsöffnung 13 nachfolgende Optiken im Strahlengang für die EUV-Strahlung auf eine bestimmte Größe und Lage des Emissionsgebietes ausgelegt sind, müssen diese Parameter von der Strahlungsquelle möglichst konstant gehalten werden. Ein zu großes Emissionsvolumen vergrößert die Etendue der Quelle (Produkt aus Quellgröße und Emissionswinkel) und führt zu höheren Verlusten im optischen System der Anwendung. In einem solchen Fall kann über die Steuerfunktionen der Hauptsteuereinheit 6 entweder eine der Austrittsöffnung 13 nachgeordnete Optik nachjustiert werden oder bei einer laserbasierten 10 Strahlungsquelle wird das Lasermodul 36 mit dem zugeordneten Fokussiermodul 38 geeignet nachgestellt.

15 Mit der zusätzlichen abbildenden Optik 57 vor der EUV-Kamera 56 kann außerdem die Winkelverteilung der Strahlung 12 bestimmt werden. Dazu muss die beschriebene EUV-Kamera 56 hinter der zusätzlichen Optik 57 zeitlich nacheinander in verschiedenen Winkeln (durch Verschiebung der Empfängerfläche der EUV-Kamera 56) Messungen durchführen. Durch Auswertung mehrerer Aufnahmen kann die 20 Winkelverteilung der Strahlung 12 bestimmt werden. Inhomogenitäten in der Winkelverteilung führen zwangsläufig zu Inhomogenitäten in der Beleuchtungsebene der Anwendung und müssen demnach vermieden werden. Erzeugt werden diese 25 durch unregelmäßigen Elektrodenabbrand (bei Gasentladungsplasmen) oder durch nicht zentrische Ausrichtung der Laserstrahlung in Bezug zum Target (bei laserinduzierten Plasmen). Abhilfe schafft hier der Austausch der Elektroden bzw. eine Justage von Laserstrahlung bzw. Targetsysteem.

30 Eine weitere nützliche Zusatzeinrichtung der Strahlungsdiagnoseeinheit 5 ist ein schneller EUV-Detektor 58, der mit Ansprechzeiten von wenigen Nanosekunden oder kürzer (z.B. einige 100 ps) die Bestimmung der Impulsform der emittierten Strahlung 12 erlaubt. Weitere schnelle EUV-Detektoren (nicht gezeichnet) können für Rekalibrierungszwecke des ersten EUV-Detektors 58 vorgesehen sein. Während bei Gasentladungsplasmen gemäß Fig. 2 elektrische Schaltkreise sowie die

Entladungsparameter im Hochspannungsmodul 33 den Impulsverlauf bestimmen, folgt der zeitliche Intensitätsverlauf bei laserinduzierten Plasmen gemäß Fig. 4 im Wesentlichen der Laserintensität.. Durch Verlängerung der Emissionszeit infolge der Variation der vorgenannten Einflussgrößen kann die Energiekonversion und damit der 5 Wirkungsgrad der EUV-Quelle erhöht werden.

Zum Schutz der optischen und optoelektronischen Komponenten von Energiemonitoreinheit 4 und Strahlungsdiagnoseeinheit 5 sowie von nachfolgenden optischen Elementen, wie beispielsweise einer (in Fig. 2 nicht dargestellten) Kollektorstroptik zur Formung eines aus der Austrittsöffnung 13 austretenden 10 Lichtbündels der Strahlung 12 für die Anwendung, ist innerhalb der Vakuumkammer 1, die für eine gasentladungsgepumpte EUV-Quelle vorzugsweise konisch (in Form eines Kegelstumpfes) geformt ist, eine Debrisfiltereinheit 7 zur Absorption von Partikeln, die mit der Strahlung 12 aus dem Plasma 11 emittiert werden, unmittelbar dem Entladungsmodul 31 nachgeordnet. Die Debrisfiltereinheit 7 ist in diesem 15 Beispiel nach Fig. 2 als Strömungsfilter 71 auf Basis eines elektrisch unterstützten Querströmungsprinzips (z.B. gemäß DE 102 15 469) ausgeführt. Es können jedoch beliebige andere Debrisfilterkonfigurationen gewählt werden, wie beispielsweise auch das im nachfolgenden Beispiel zu Fig. 4 beschriebene kuppelförmige Debrisfilter 72.

20 Die Hauptsteuereinheit 6 definiert einerseits eine Schnittstelle zwischen der gesamten Strahlungsquelle und dem Nutzer bzw. der Anwendung (z.B. lithographische Belichtungsmaschine). Die Hauptsteuereinheit 6 besitzt andererseits Schnittstellen zur Kommunikation mit den Steuerungen und Regelkreisen aller anderen Module und 25 Einheiten, aus denen die Strahlungsquelle zusammengesetzt ist, oder sie beeinflusst direkt die Stellgliedern der Einheiten und Module. Durch Auswertung der ankommenden Signale und Kenntnis der Charakteristik der Strahlungsquelle (Kennlinien) sowie der anwendungsspezifischen Vorgaben kann die Hauptsteuereinheit 6 die Parameter der EUV-Quelle bestimmen und Steuersignale an 30 einzelne Module weitergeben.

Die Hauptsteuereinheit 6 kontrolliert insbesondere die Wiederholrate der Entladungen im Entladungsmodul 31, die extern durch den Anwender bzw. die Anwendung vorgegeben ist oder intern eingestellt wird. Anwendungsbezogene Vorgaben für die Ausgangsleistung der Strahlungsquelle, die Impulsenergie oder die

emittierte Strahlungsdosis können durch die Hauptsteuereinheit 6 konstant gehalten werden, indem die einzelnen Module und Einheiten entsprechend angesteuert oder geregelt werden. So kann z.B. die Hochspannung im Hochspannungsmodul 33 auf einen Wert, der von der Hauptsteuereinheit 6 vorgegeben wird, durch eine interne

5 Steuerung des Hochspannungsmoduls 33 konstant gehalten werden. Außerdem werden die Ladespannung und Ladegeschwindigkeit des Hochspannungsmoduls 33 von der Hauptsteuereinheit 6 vorgegeben. Zur Bestimmung des Zeitpunktes der Entladung wird ein Schalter, der sich zwischen der Kondensatorbank im Hochspannungsmodul 33 und den Elektroden 32 im Entladungsmodul 31 befindet,

10 durch ein externes Signal von der Hauptsteuereinheit 6 getriggert.

Beispiel 2: Lasergepumpte EUV-Strahlungsquelle

15 Zur Erzeugung des EUV-emittierenden Plasmas 11 wird in diesem Beispiel ein Laserstrahl, der den erforderlichen Energieeintrag zur Plasmaanregung erbringt, auf einen Targetstrom gerichtet. Es sind aber gleichwertig auch andere energiereiche Strahlungen zur Erzeugung des Plasmas geeignet, wie z.B. ein Elektronenstrahl. Bei der lasergepumpten Strahlungsquelle – wie in Fig. 4 dargestellt – ist in der

20 Plasmaerzeugungseinheit 3 ein Lasermodul 36, das einen gepulsten Laser beinhaltet, der Impulse mit Längen im Bereich zwischen 50 fs und 50 ns emittiert. Die Impulsenergie solcher Lasermodule 36 liegt typischerweise zwischen 1 mJ und 10 J pro Impuls.

Die Wellenlänge und Impulsenergie des Laserstrahls sind durch Parameter des

25 Lasermoduls 36 und eine interne Steuerung bestimmt. Die Impulsenergie kann über Pumpleistung, Variation von Abschwächern etc. variiert werden. Das Lasermodul 36 bestimmt mittels der Steuerung geeignete Parameter des Lasers und überwacht die Einhaltung der geforderten Spezifikationen in Bezug auf Ausgangsleistung, Puls-zu-Puls-Regelung, Wiederholfrequenz etc.

30 Die Plasmaerzeugungseinheit 3 enthält ein internes Strahldiagnose-Modul 37, mit dem der Laserstrahl analysiert wird. So kann z.B. ein Teilstrahl aus dem Strahlengang am Ausgang des Lasermoduls 36 mit Hilfe eines teildurchlässigen Spiegels ausgekoppelt und in das Strahldiagnose-Modul 37 geleitet werden. Darin wird sowohl die Impulsenergie bestimmt als auch die mittlere Laserleistung, der

Divergenzwinkel des Laserstrahls, das Strahlprofil und die Strahltragfähigkeit. Diese Parameter werden an die Steuerung des Lasermoduls 36 übertragen und mit den Sollwerten verglichen. Die Steuerung des Lasermoduls 36 bestimmt aus den Abweichungen neue Laserparameter für den nächsten Laserimpuls und überwacht

5 deren Einhaltung autonom.

Um aus einem Target ein heißes, dichtes Plasma 11 zu erzeugen, muss der Laserstrahl zur Erreichung ausreichender Laserintensität fokussiert werden. Die Position und Größe des Fokus werden durch die Fokussierung im Zusammenwirken mit den

Laserparametern bestimmt. Eine Autofokuseinrichtung 38 garantiert gleichbleibende

10 Eigenschaften der Fokussierung für jeden Laserimpuls, was in gleichbleibender Intensität und Laserfleckgröße des Laserstrahl auf dem Target resultiert.

Der Laserstrahl wird in der Vakuumkammer 1 auf einen Targetstrom gerichtet, der von einem Targetgeneratormodul 39 erzeugt und die Richtung des Laserstrahls kreuzt.

15 Das Targetgeneratormodul 39 stellt den Targetstrom entlang einer Symmetriearchse der Vakuumkammer 1 zur Verfügung, wobei vorzugsweise eine zylinderförmige Vakuumkammer 1 eingesetzt wird, an deren Mantelfläche das Lasermodul 36 und die Austrittsöffnung 13 zur Anwendung der emittierten Strahlung angekoppelt sind und an deren Deckflächen die Zufuhr und Abfuhr des Targetmaterials erfolgt. Die

20 Materialmenge des Targets muss ausreichend sein, damit genügend Strahlungs- erzeuger verfügbar sind. Dazu müssen Strahldurchmesser des Laserstrahls und Targetgröße so aufeinander abgestimmt sein, dass eine möglichst hohe Konversionseffizienz erreicht wird. Das Targetmaterial kann fest, flüssig, gasförmig oder plasmaähnlich sein. Es wird vorzugsweise als Tröpfchen (fest, d.h. gefroren, oder

25 flüssig), als Strahl (flüssig oder gasförmig), als Nebel oder Molekularstrahl zur Verfügung gestellt. Als Materialien kommen vor allem Zinn und Xenon als breitbandige Emitter in Betracht sowie Sauerstoff und Lithium als schmalbandige Linienemitter. Durch Wahl der Temperatur können diese Materialien als Festkörper, Flüssigkeit oder Dampf verwendet werden, indem Kryo- oder Heiztechnik zum Einsatz

30 kommen. Ferner sind chemische Verbindungen mit einem hohen Anteil dieser Elemente denkbar, wobei die physikalischen Eigenschaften der Verbindungen die Handhabung der Elemente deutlich vereinfachen kann (z.B. Wasser an Stelle von flüssigem Sauerstoff).

Die Besonderheit in diesem Beispiel liegt in der anspruchsvollen Steuerung der Plasmaerzeugung im Wechselspiel von konstanter Laseranregung durch das Lasermodul 36 und von aus dem Targetgeneratormodul 39 gelieferten bewegten masselimitierten Targets.

5 Dazu verwendet die Hauptsteuereinheit 6 die Signale der Energiemonitoreinheit 4 und der Strahlungsdiagnoseeinheit 5. Weichen diese von den anwendungs- spezifischen Vorgaben ab, werden die Eigenschaften von Lasermodul 36 und Targetgeneratormodul 39 so modifiziert, dass die Messwerte wieder an die Vorgaben angepasst werden. Eine zu geringe EUV-Impulsenergie wird z.B. durch Erhöhung der
 10 Laserimpulsenergie und/oder durch Vergrößerung des Durchmessers des Targetstroms im Targetgeneratormodul 39 ausgeglichen.

 Energiemonitoreinheit 4 und Strahlungsdiagnoseeinheit 5 sind für die Überwachung der emittierten Strahlung 12 in gleicher Weise wie bei der oben beschriebenen EUV- Strahlungsquelle auf Basis einer Gasentladung konzipiert. Sie weisen in gleicher
 15 Weise Datenverbindungen zur Hauptsteuereinheit 6 und zur Plasmaerzeugungs- einheit 3 bzw. zu deren Modulen auf. Die Hauptsteuereinheit 6 koordiniert in diesem Fall die Abstimmung von Durchmesser und Größe der Targets aus dem Targetgeneratormodul 39 (sowie deren zeitliche Abfolge, falls – wie in Fig. 4 stilisiert gezeigt – ein Tropfengenerator verwendet wird) und die Einstellung von Laserleistung
 20 (Impulsenergie), Impulsdauer, Puls-zu-Puls-Stabilität, Lagestabilität und Fokuszustand des vom Lasermodul 36 ausgesandten Laserstrahls.

 Die Vakumerzeugungseinheit 2 und deren Steuerung erfolgt in gleicher Weise wie im ersten Beispiel. Allerdings ist die Steuerung des geeigneten niedrigen Drucks
 25 insofern vereinfacht, dass die Zufuhr eines Arbeitsgases entfällt und sich somit die auf eine einfache Druckregelung beschränkt.

Die Vakumerzeugungseinheit 2 kann aber – wie Fig. 5 genauer zeigt – in ein Target- Recycling-Modul 9 eingebunden sein. Da beim Laserbeschuss der Targets häufig Reste des Targetmaterial in der Vakuumkammer 1 verbleiben, können diese
 30 abgepumpt und aufbereitet erneut dem Targetgeneratormodul 39 zugeführt werden. Dazu ist in die dem Targetgeneratormodul 39 gegenüberliegenden Fläche der Vakuumkammer 1 ein Auffangtrichter 91 eingelassen, der an einen Verdichter 92 in Form einer Kompressionspumpe angeschlossen ist. Der Ausgang des Verdichters 92 wird anschließend mit dem Ausgang der Vakumerzeugungseinheit 2

zusammengeführt und dem Targetgeneratormodul 39 zugeleitet. Das ist deshalb sinnvoll, da wesentliche Anteile des Targetmaterials in der Vakuumkammer 1 verdampfen und durch die in der Vakumerzeugungseinheit 2 enthaltenen Pumpen abgesaugt und zugleich ebenfalls ausgangsseitig verdichtet werden.

5

Andersartig (als im Aufbau gemäß Fig. 2) ist in diesem Beispiel die Form der Vakuumkammer 1. Sie ist gemäß Fig. 4 – und wie in räumlicher Darstellung aus Fig. 5 deutlicher zu entnehmen – vorzugsweise in Form eines Hohlzylinders ausgeführt, an dessen einer Deckfläche das Targetgeneratormodul 39 angeflanscht ist, wobei das verbrauchte Targetmaterial an der anderen Deckfläche (gemäß Fig. 5) aufgefangen wird. An der Mantelfläche des Zylinders sind peripher in radialer Richtung das Lasermodul 36, die Vakumerzeugungseinheit 2, die Energiemonitoreinheit 4, die Strahlungsdiagnoseeinheit 5 und die Austrittsöffnung 13 für die Auskopplung der EUV-Strahlung 12 angebracht. Das Targetgeneratormodul 39 generiert in diesem konkreten Beispiel einen Tröpfchenstrom entlang der vertikalen Symmetriearchse der zylinderförmigen Vakuumkammer 1. Orthogonal dazu trifft der vom Lasermodul 36 generierte Laserstrahl fokussiert auf jeweils ein vorbeifliegendes Target und generiert durch den Energieeintrag das Plasma 11. In geeignetem Winkelabstand zur Einfallsrichtung des Laserstrahls befindet sich die Austrittsöffnung 13 der Vakuumkammer 1. Da das gezeigte Tropfentarget nahezu allseitig Strahlung 12 emittiert, befindet sich in diesem Beispiel eine Kollektortoptik 8 innerhalb der Vakuumkammer 1. Die Kollektortoptik 8 ist in Form eines gewölbten Mehrschichtspiegels, der Austrittsöffnung 13 gegenüberliegend, an der Mantelfläche der Vakuumkammer 1 angeordnet. Sie bündelt und fokussiert die Strahlung 12 aus dem bezüglich der Austrittsöffnung 13 rückwärtigen Raumwinkel der Vakuumkammer 1 und erhöht somit zugleich die Lichtausbeute an erwünschter EUV-Strahlung.

Wie bereits im ersten Beispiel beschrieben, ist in der Vakumeinheit 1 eine Debrisfiltereinheit 7 vorhanden zur Rückhaltung von aus dem Plasma 11 generierten Teilchen. Das geschieht einerseits zum Schutz der der Austrittsöffnung 13 nachgeordneten Elemente der Anwendung (nicht dargestellt) sowie der in diesem Fall vorgeordneten Kollektortoptik 8 und andererseits der Energiemonitoreinheit 4 und der Strahlungsdiagnoseeinheit 5. Für die gewählte Ausführung der lasergepumpten EUV-Quelle gemäß Fig. 4 ist ein mechanisches Lamellengebiilde als kuppelförmiges

Debrisfilter 72 eingesetzt. Dieses kuppelförmige Debrisfilter 72 ist als aktives, d.h. drehbares Lamellenteil ausgeformt, dessen ebene Lamellen 73 zwischen konzentrischen Kugelflächen so angeordnet sind, dass sie sich in der Drehachse, die mit der optischen Achse der Kollektortoptik 8 in Bezug auf die Austrittsöffnung 13 übereinstimmt, schneiden. Dadurch wird die allseitig aus dem Plasma 11 austretende Strahlung 12 in keiner Richtung behindert und sowohl die geladenen als auch die ungeladenen Teilchen kommen durch die Drehbewegung mit den Lamellen 73 in Kontakt und werden absorbiert. Die Drehbewegung wird für das aktive kuppelförmige Debrisfilter 72 durch einen Tangentialantrieb 74 erzielt und erfolgt um die von Kollektortoptik 8 und Austrittsöffnung 13 aufgespannte optische Achse. Dadurch wird eine lange Lebensdauer der optischen Komponenten der EUV-Strahlungsquelle erreicht und zugleich sichergestellt, dass auch die erfindungsgemäßen Messmodule, Energiemonitoreinheit 4 und Strahlungsdiagnoseeinheit 5, ihre Messaufgaben für eine stabile Regelung der Strahlungsleistung der EUV-Quelle zuverlässig und über große Zeiträume erfüllen können.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

1 Vakuumkammer

11 Plasma

12 Strahlung

5 13 Austrittsöffnung

14 Schiebeventile

2 Vakumerzeugungseinheit

10 3 Plasmaerzeugungseinheit

31 Entladungsmodul

32 Elektroden

33 Hochspannungsmodul

34 Isolatorröhren

15 35 Gasversorgungsmodul

36 Lasermodul

37 Strahldiagnosemodul

38 Fokussiereinrichtung

39 Targetgeneratormodul

20 4 Energiemonitoreinheit

41 Detektor

42 Rekalibrierungsdetektor

25 5 Strahlungsdiagnoseeinheit

51 Spektrograph

52 Energiedetektor

53 (spektral selektive) Sensoren

54 Filter

30 55 Auswertemodul

56 EUV-Kamera

57 abbildende Optik

58 schneller EUV-Detektor

- 6 Hauptsteuereinheit
- 7 Debrisfiltereinheit
- 71 Strömungsfilter
- 5 72 kuppelförmiges Debrisfilter
- 73 Lamellen
- 74 Tangentialantrieb

- 8 Kollektoroptik

10

- 9 Target-Recycling-Modul
- 91 Auffangtrichter
- 92 Verdichter
- 93 Gas-Recycling-Modul

15

Patentansprüche

1. Strahlungsquelle zur Erzeugung von extrem ultravioletter (EUV-) Strahlung; bei der in einer Vakuumkammer ein heißes Plasma, das die gewünschte Strahlung emittiert, erzeugt wird, bestehend aus:
 - 5 - einer Plasmaerzeugungseinheit (3), die zur Einbringung gepulst zugeführter, hoher Energieeinträge mit der Vakuumkammer (1) direkt verbunden ist, um das heiße Plasma (11) mit geringer räumlicher Ausdehnung und hoher Dichte in einer Vakuumkammer (1) zu erzeugen, wobei die Vakuumkammer (1) eine Austrittsöffnung (13) zur Auskopplung eines Lichtbündels zu einer spezifischen Anwendung aufweist,
 - 10 - einer Vakumerzeugungseinheit (2) zur Erzeugung einer verdünnten Gasatmosphäre mit definiertem Druck in der Vakuumkammer (1) und Teilen der Plasmaerzeugungseinheit (3), wobei die Vakumerzeugungseinheit (2) wenigstens eine Vakuumpumpe, ein Druckmessgerät und eine Steuerung zur Aufrechterhaltung eines geeigneten Betriebsdruckes für die Erzeugung des Plasmas (11) und der EUV-Strahlung (12) aufweist,
 - 15 - einer Energiemonitoreinheit (4) zur Erfassung der Impulsenergie der emittierten Strahlung, wobei die Energiemonitoreinheit (4) zur Regelung einer Puls-zu-Puls-Stabilität der Energieabstrahlung des Plasmas (11) eine Rückkopplung auf den Energieeintrag aufweist,
 - 20 - einer Strahlungsdiagnoseeinheit (5) zur Analyse der realen Strahlungscharakteristik der aus dem Plasma (11) emittierten Strahlung und Generierung von Ergebnisdaten der Diagnose zur Beeinflussung der Anregungsbedingungen für das Plasma (11),
 - 25 - einer Hauptsteuereinheit (6) zur Steuerung einer definierten Qualität des ausgekoppelten Lichtbündels als Strahlungsimpulse von anwendungsspezifischer Impulswiederholrate, mittlerer Energieabstrahlung und Strahlungsintensität, wobei die Hauptsteuereinheit (6) zu allen vorgenannten Einheiten der Strahlungsquelle Verbindungen aufweist, um mindestens deren Einstellzustand zu erfassen, und Bedienelemente zur anwendungsspezifischen Steuerung vorhanden sind, um die Strahlungsquelle in Abhängigkeit von übertragenen Zustands- und Diagnosedaten und eingegebenen Anwendungserfordernissen zu beeinflussen.

2. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energiemonitoreinheit (4) einen Detektor (41) zur Bestimmung der EUV-Impulsenergie für jeden einzelnen Impuls aufweist.

5 3. Strahlungsquelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Energiemonitoreinheit (4) einen zweiten Detektor (42) zur Bestimmung der absoluten EUV-Impulsenergie aufweist, der für Vergleichsmessungen nur von Zeit zu Zeit mit der emittierten Strahlung beleuchtet wird und zur Kalibrierung des ersten Detektors (41) vorgesehen ist.

10

4. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdiagnoseeinheit (5) einen Spektrographen (51) zur Bestimmung der spektralen Verteilung der emittierten Strahlung (12) aufweist.

15 5. Strahlungsquelle nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Spektrograph (51) einen kalibrierten Detektor (52) zur Bestimmung der Ausgangsenergie oder Leistung der EUV-Strahlungsquelle enthält.

6. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdiagnoseeinheit (5) mehrere Sensoren (53) unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit aufweist, wobei die Lichtausbeute in definierten Spektralintervallen messbar ist.

20

7. Strahlungsquelle nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdiagnoseeinheit (5) mehrere Sensoren (53) mit unterschiedlichen Filtern (54) aufweist, wobei durch Differenzbildung von gemessenen Intensitätswerten unterschiedlicher Sensoren (53) die Lichtausbeute in definierten Spektralintervallen messbar ist.

25

8. Strahlungsquelle nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdiagnoseeinheit (5) Mittel zum Vergleich der gemessenen Strahlungsanteile im gewünschten EUV-Spektralbereich und außerhalb dieses Bereiches (55) aufweist, wobei durch Vergleich der Intensitätswerte von einzelnen

Spektralintervallen untereinander die Beschaffenheit des Plasmas (11) analysierbar ist und Einstellgrößen für die Plasmaerzeugungseinheit (3) ableitbar sind.

9. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Strahlungsdiagnoseeinheit (5) eine EUV-sensitive Kamera (56) zur Bestimmung der Größe und Lage des Quellortes der Strahlung (12) im Plasma (11) aufweist.
10. Strahlungsquelle nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass
vorzugsweise ein reflektierendes Mehrschichtspiegel-System, zur Bestimmung der
10 Winkelverteilung der vom Plasma (11) erzeugten aus der Vakuumkammer (1) austretenden EUV-Strahlung (12) enthält.
11. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Strahlungsdiagnoseeinheit (5) einen schnellen EUV-Detektor (58) mit Ansprechzeiten von wenigen Nanosekunden oder kürzer für die Bestimmung der Impulsform der emittierten Strahlung (12) aufweist.
12. Strahlungsquelle nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass
20 in der Strahlungsdiagnoseeinheit (5) wenigstens ein weiterer schneller EUV-Detektor für Rekalibrierungszwecke des ersten schnellen EUV-Detektors (58) vorgesehen ist.
13. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
25 die Plasmaerzeugungseinheit (3) ein Hochspannungsmodul (33) zur Erzeugung einer Hochspannung für eine Gasentladung sowie ein Entladungsmodul (31) mit für eine Gasdurchströmung geeignet geformten Elektroden (32) enthält, wobei eine gepulste Spannungsbeaufschlagung der Elektroden (32) als Energieeintrag für die Plasmaerzeugung vorgesehen ist, und ein Gasversorgungsmodul (35) für
30 die Gasdurchströmung der Elektroden (32) aufweist, das in der Vakuumkammer (1) ein Arbeitsgas in einer für die Plasmaerzeugung geeigneten Zusammensetzung bereitstellt.

14. Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Hochspannungsmodul (33) eine Kondensatorbank, die in kurzen Zeiten aufladbar und mittels eines Schaltelements und eines elektrischen Schaltkreises über die Elektroden des Entladungsmoduls (31) entladbar ist, aufweist.

5

15. Strahlungsquelle nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass im Hochspannungsmodul (33) magnetische Kompressionsstufen zur Verkürzung der Stromanstiegszeiten und weitere Kondensatorbänke integriert sind.

10

16. Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Hochspannungsmodul (33) bezüglich Spannung und Ladegeschwindigkeit mit der Hauptsteuereinheit (6) in Verbindung steht, wobei zur Bestimmung des Zeitpunktes der Entladung durch ein externes Signal von der Hauptsteuereinheit (6) eine Triggerung des Hochspannungsmoduls (33), insbesondere des Schaltelements, vorgesehen ist.

15

17. Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gas-Recycling-Modul (93), das zur Aufnahme und Aufbereitung von aus der Vakuumkammer (1) abgepumptem Gas an die Vakumerzeugungseinheit (2) angeschlossen ist, mit dem Gasversorgungsmodul (93) in Verbindung steht.

20

18. Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Entladungsmodul (31) zwei konzentrisch angeordnete Elektroden (32), die mit einer Isolatorscheibe voneinander separiert sind, zur Plasmafokus-Entladung aufweist.

25

19. Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Entladungsmodul (31) zwei zu einer Z-Pinch-Entladung gegenüberliegende Elektroden (32), die durch ein Isolatorröhrchen (34) getrennt sind, aufweist.

30

20. Strahlungsquelle nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Entladungsmodul (31) einen für eine Kapillar-Entladung abgewandelten Z-Pinch-Aufbau, wobei der Innendurchmesser des Isolatorröhrchens (34) sehr klein ist, aufweist.

21. Strahlungsquelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Entladungsmodul (31) zwei gegenüberliegende Elektroden (32) enthält, wobei die Katode einen Hohlraum, in dem die Plasmazündung stattfindet, zur hohlkatoden-getriggerten Pinch-Entladung aufweist.

5

22. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmaerzeugungseinheit (3) ein Lasermodul (36) zur Plasmaerzeugung durch Laserbeschuss eines Targets in der Vakuumkammer (1), wobei das Lasermodul (36) mit Steuerungskomponenten zur Eigenregelung des Lasers auf Basis einer Laserstrahldiagnose (37) ausgestattet ist, und ein steuerbares Targetgeneratormodul (39), das für die Erzeugung eines bezüglich Aggregatzustand, Temperatur und Form definierten Targetstroms für den Laserbeschuss vorgesehen ist, aufweist.

10

15

23. Strahlungsquelle nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass dem Lasermodul (36) ein Strahldiagnosemodul (37) zugeordnet ist, das eine Leistungs- und Impulsenergiemessung des Laserstrahls beinhaltet.

20

24. Strahlungsquelle nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass dem Lasermodul (36) eine Fokussiereinrichtung für den Laserstrahl, insbesondere eine Autofokuseinrichtung (38), zugeordnet ist.

25

26. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Debrisfiltereinheit (7) zur Absorption von Partikeln, die mit der Strahlung aus dem Plasma (11) emittiert werden, vorgesehen ist, wobei das Debrisfilter (72) zwischen dem Plasma und optischen Elementen einer Kollektoroptik, die zum

Formen und Bündeln der aus der Austrittsöffnung (13) der Vakuumkammer (1) austretenden Strahlung (12) vorgesehen ist, angeordnet ist.

27. Strahlungsquelle nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Vakuumerzeugungseinheit (2) in ein Target-Recycling-Modul (9) eingebunden ist, wobei in der Vakuumkammer (1) gegenüber dem Targetgeneratormodul (39) eine Auffangeinrichtung (91) für Targetreste, die über einen Verdichter (92) abgesaugt wird, angeordnet ist und der Verdichter (92) und die Vakuumerzeugungseinheit (2) mit ihren Ausgängen mit dem Targetgeneratormodul
10 verbunden sind.

28. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

15 die Vakuumerzeugungseinheit (2) eine Verknüpfung mit der Hauptsteuereinheit (6) aufweist, mit der eine Einstellung des erforderlichen Drucks für die Plasmaerzeugung in der Vakuumkammer (1) vorgesehen ist.

29. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

20 die Hauptsteuereinheit (6) sämtliche Steuerungen und Regelungen für alle Einheiten und Module enthält, wobei entsprechende Datenschnittstellen zur Übertragung von Messgrößen und Einstellgrößen vorhanden sind, um alle Funktionen und Zustände der Strahlungsquelle zu überwachen und koordiniert zu steuern.

30. Strahlungsquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Hauptsteuereinheit (6) nur anwendungsorientierte Steuerfunktionen für die Einheiten und Module der Strahlungsquelle bereitstellt und eine Havarie- und Störungsüberwachung aufweist, wobei alle Einheiten und Module eigenständige Steuerungs- und Regelungssysteme, die mit der Hauptsteuerungseinheit (6) in Datenverbindung stehen, enthalten.

30
– Hierzu 5 Seiten Zeichnungen –

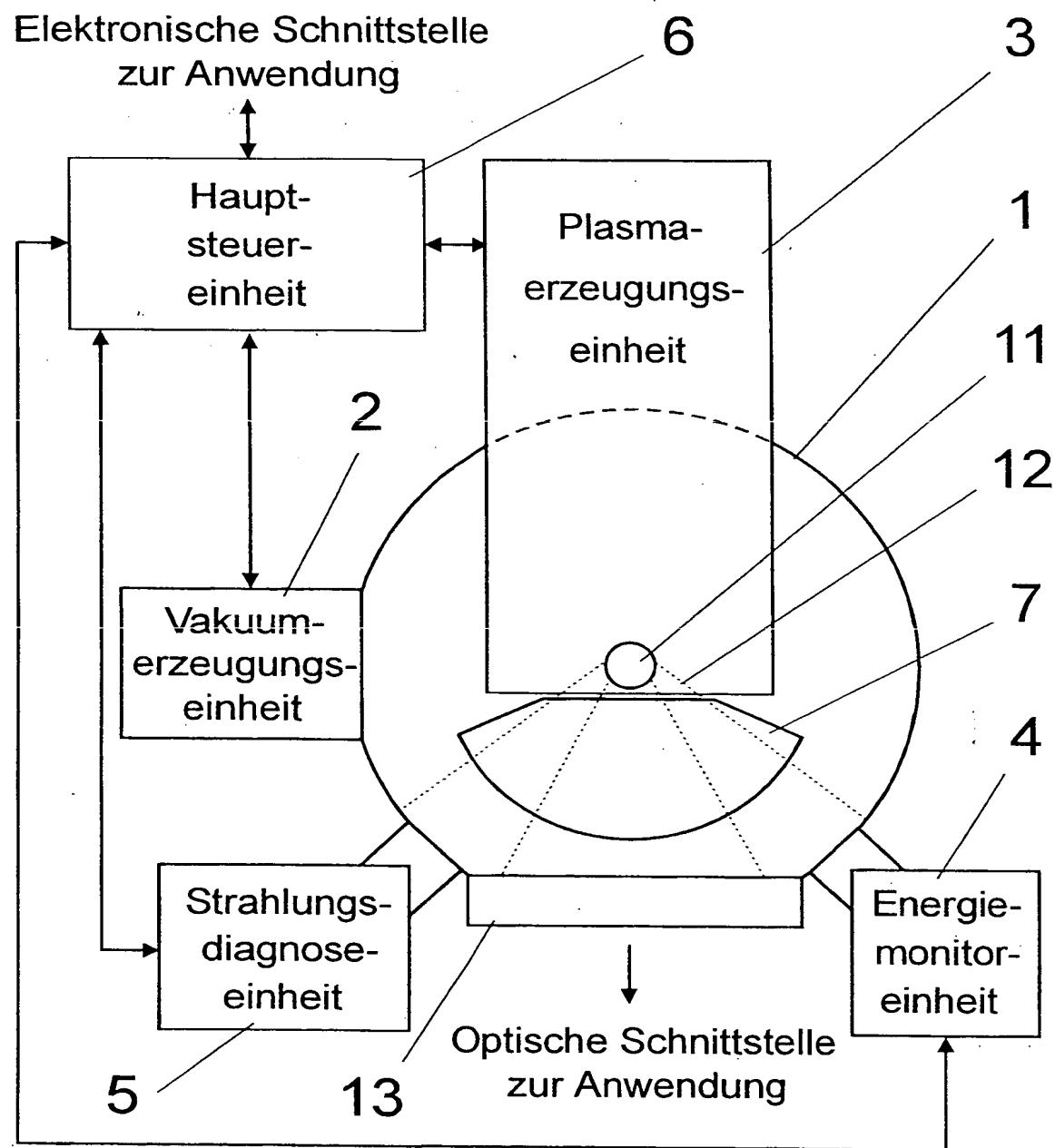


Fig 1

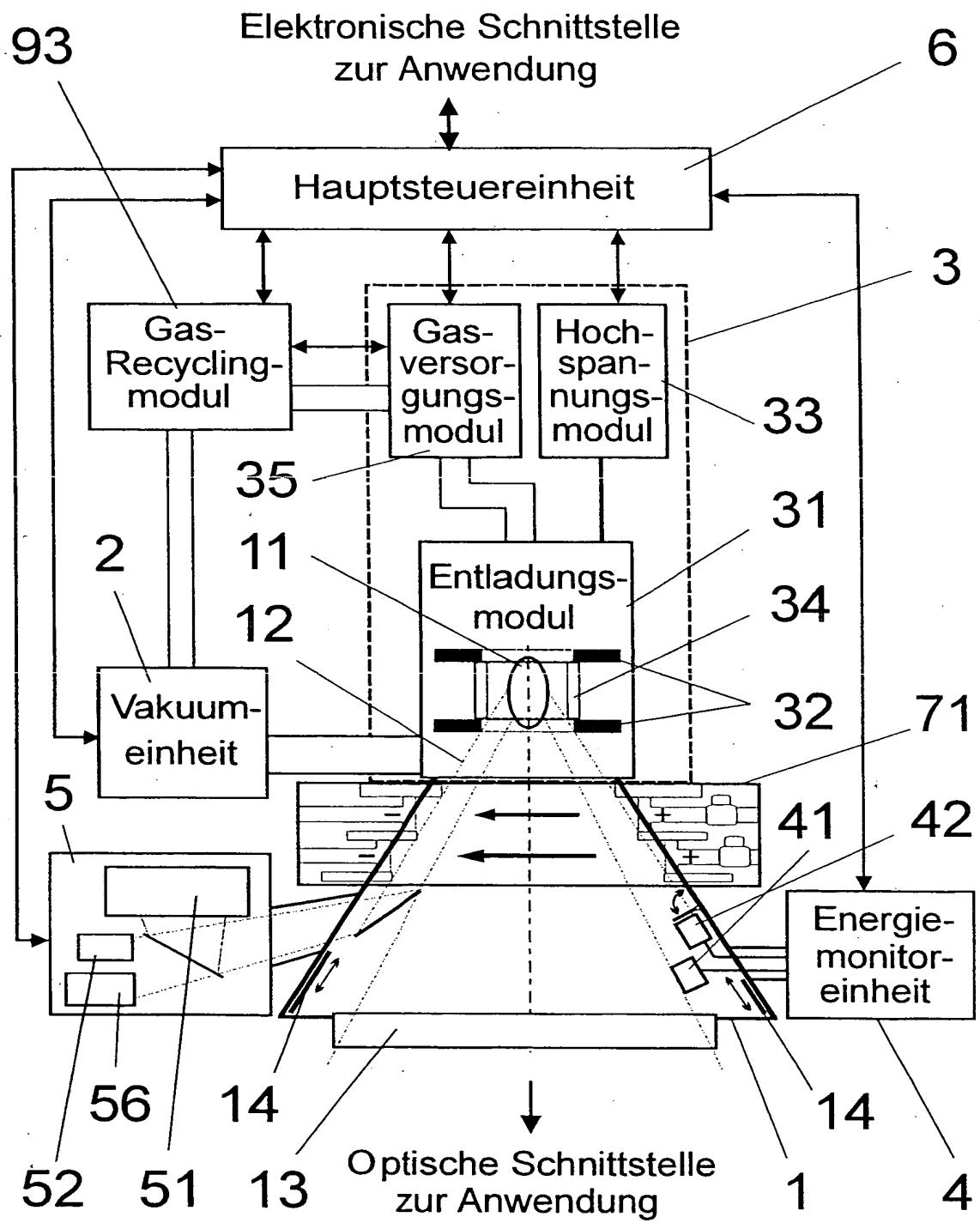
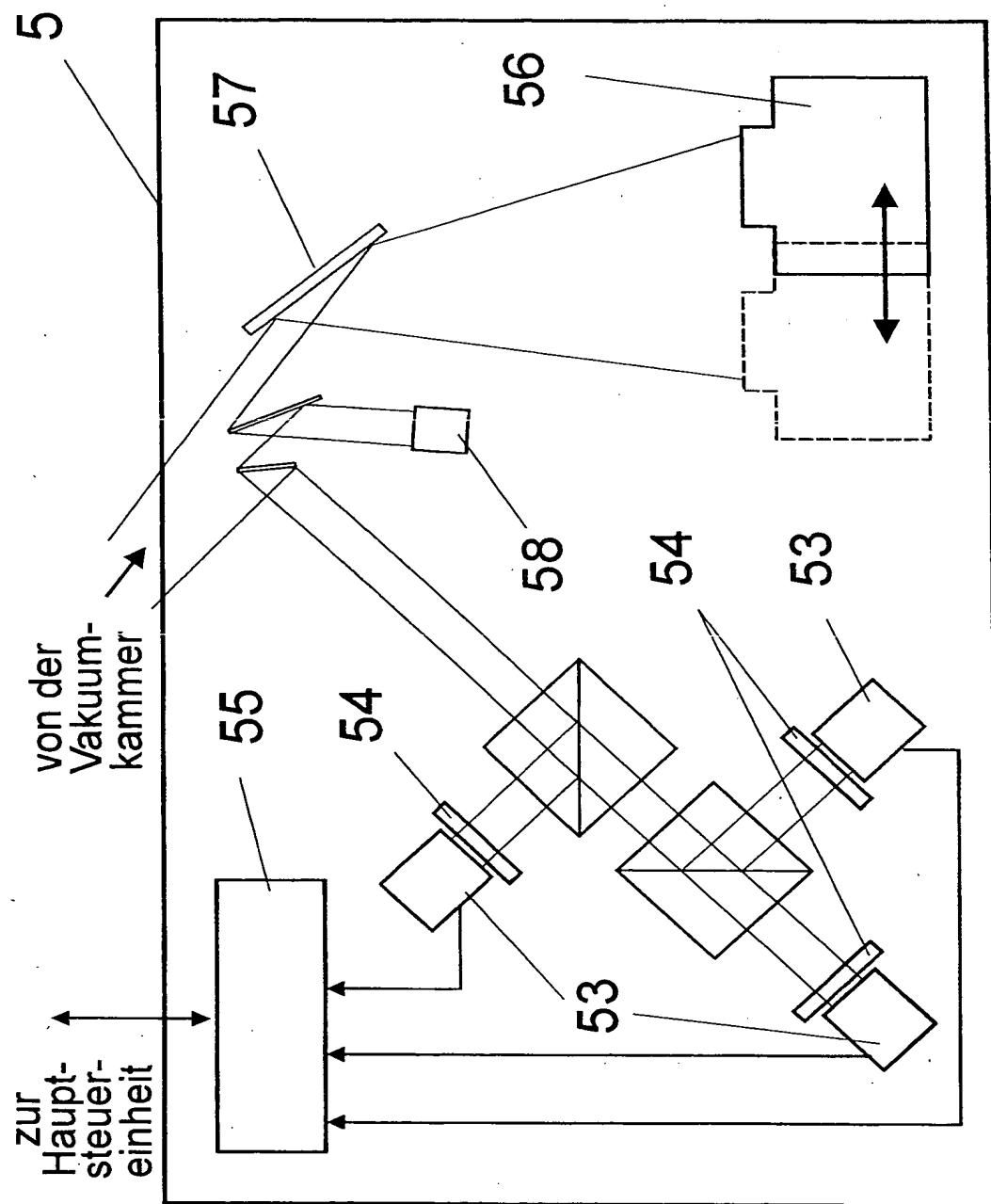


Fig 2

Fig 3



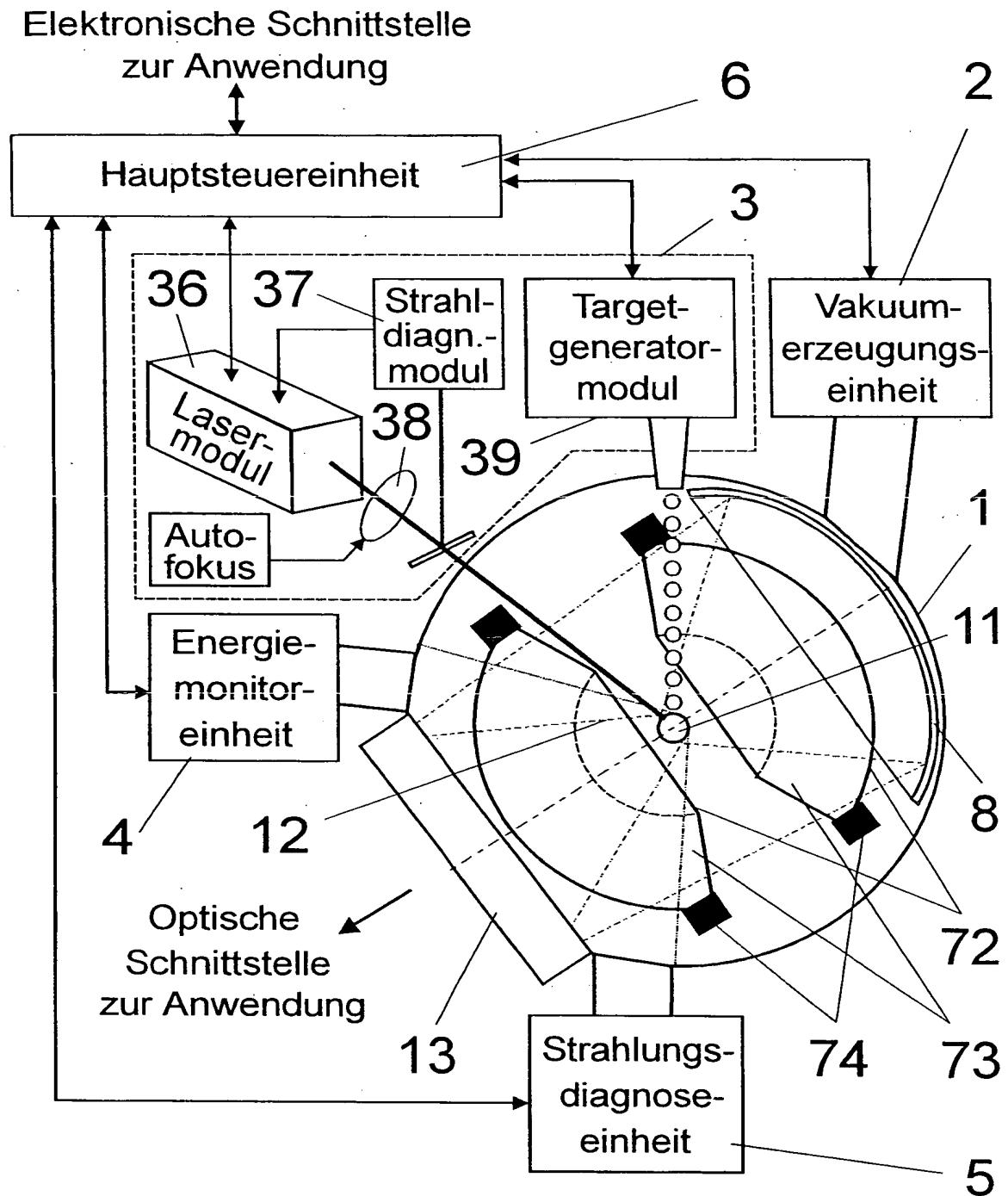


Fig 4

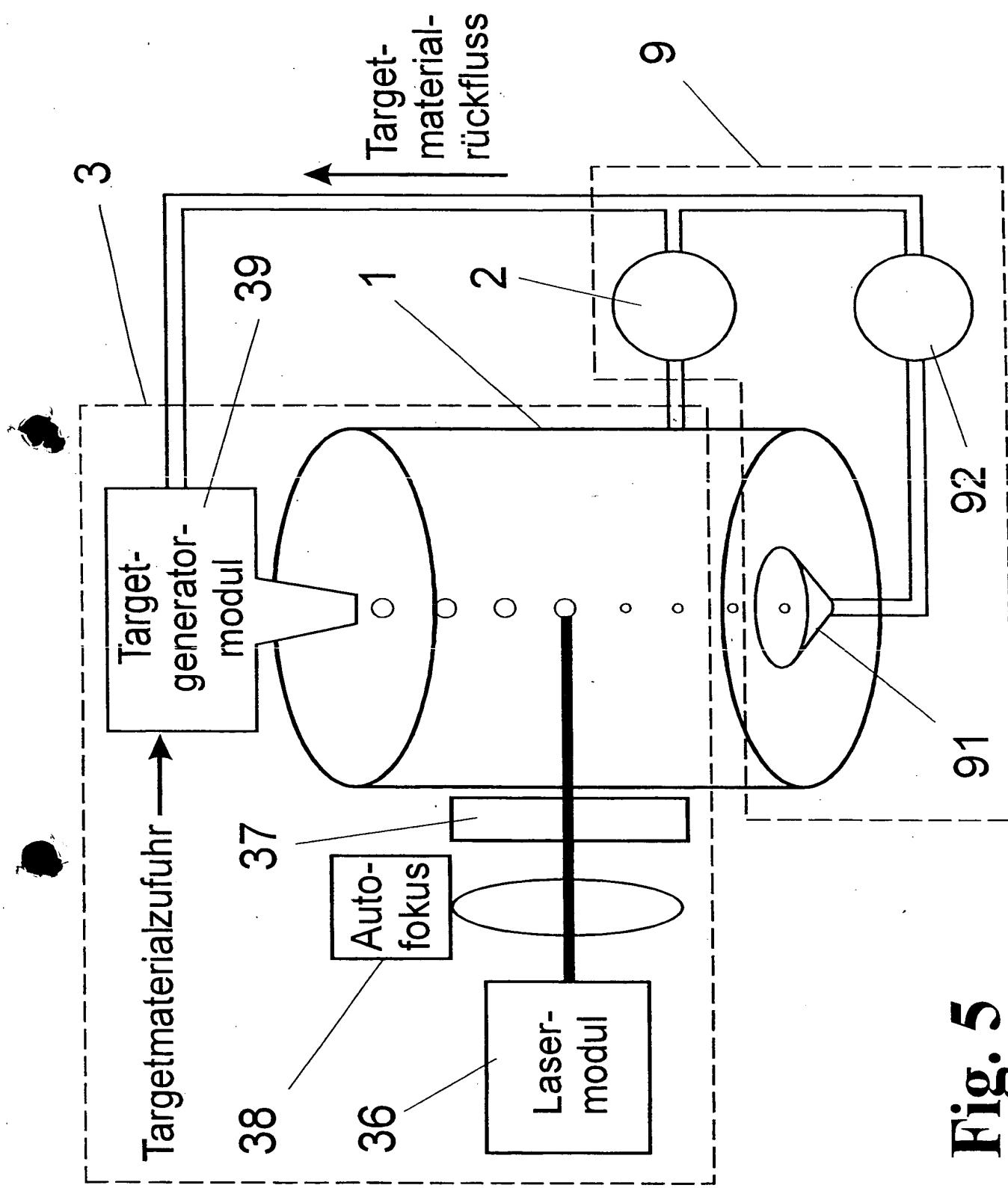


Fig. 5

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Strahlungsquelle zur Erzeugung von extrem ultravioletter (EUV-) Strahlung, insbesondere für photolithographische Belichtungsverfahren.

5 Die Aufgabe, eine neue Möglichkeit zur Realisierung von Strahlungsquellen zur Erzeugung von EUV-Strahlung zu finden, die bei anwendungsspezifischer Flexibilität des Quellenkonzepts einen einheitlichen Grundaufbau zur Sicherung langfristig reproduzierbarer Strahlungseigenschaften gestattet, wird erfindungsgemäß gelöst, indem eine beliebige Plasmaerzeugungseinheit (3) zur Einbringung gepulst

10 zugeführter hoher Energiebeträge in eine Vakuumkammer (1) vorgesehen ist und die aus dem Plasma (11) erzeugte Strahlung mit einer Energiemonitoreinheit (4), die die Impulsenergie der emittierten Strahlung misst, und einer Strahlungsdiagnoseeinheit (5), die die Strahlungscharakteristik erfasst, überwacht wird, um Ergebnisdaten zur Beeinflussung der Anregungsbedingungen für das Plasma zu erhalten und über eine

15 Hauptsteuereinheit (6) die Parameter der Plasmaerzeugung anwendungsspezifisch zu beeinflussen.

– Fig. 1 –

